5.293
P 30970
(1892) 2

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS

*Année 1891-1892* *N° 2*

# SUR LA PUISSANCE ET LE GROSSISSEMENT DE LA LOUPE ET DU MICROSCOPE

## THÈSE

Pour l'obtention du Diplôme de Pharmacien de 1re classe

*Présentée et soutenue le 26 avril 1892*

Par Julien LEFÈVRE

PROFESSEUR SUPPLÉANT A L'ÉCOLE DE MÉDECINE DE NANTES

Né à Paris le 16 décembre 1852

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS BIBLIOTHÈQUE

1892
2-6

JURY { MM. LE ROUX, Président.
PRUNIER, Professeur.
GAUTIER, Agrégé.

NANTES

ÉMILE GRIMAUD, IMPRIMEUR-ÉDITEUR

4, PLACE DU COMMERCE, 4

1892

P. 5.293 (1892)²

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS

*Année 1891-1892* *N° 2*

# SUR LA PUISSANCE

ET LE

# GROSSISSEMENT DE LA LOUPE

# ET DU MICROSCOPE

## THÈSE

Pour l'obtention du Diplôme de Pharmacien de 1re classe

*Présentée et soutenue le 26 avril 1892*

**Par Julien LEFÈVRE**

PROFESSEUR SUPPLÉANT A L'ÉCOLE DE MÉDECINE DE NANTES

Né à Paris le 16 décembre 1852

JURY
MM. **LE ROUX,** Président.
**PRUNIER,** Professeur.
**GAUTIER,** Agrégé.

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS BIBLIOTHÈQUE

**NANTES**

ÉMILE GRIMAUD, IMPRIMEUR-ÉDITEUR

4, PLACE DU COMMERCE, 4

1892

# ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE
## DE PARIS

## Administration

MM. G. PLANCHON, Directeur, ✻, ❀ I.
A. MILNE-EDWARDS, Assesseur, Membre de l'Institut, O ✻, ❀ I.
E. MADOULÉ, Secrétaire, ❀ I.

## Professeurs

| | |
|---|---|
| MM. A. MILNE-EDWARDS, O ✻, ❀ I. Membre de l'Institut | Zoologie. |
| PLANCHON, ✻, ❀ I | Matière médicale. |
| RICHE, O ✻, ❀ I. | Chimie minérale. |
| JUNGFLEISCH, ✻, ❀ I. | Chimie organique. |
| LE ROUX, ✻, ❀ I. | Physique. |
| BOURGOIN, ❀ I. | Pharmacie galénique. |
| BOUCHARDAT, ❀ I. | Hydrologie et Minéralogie. |
| MARCHAND, ❀ I. | Cryptogamie. |
| PRUNIER, ❀ I. | Pharmacie chimique. |
| MOISSAN, ✻, ❀ I. Membre de l'Institut. | Toxicologie. |
| GUIGNARD, ❀ I. | Botanique. |
| VILLIERS-MORIAMÉ, ❀ A. *Agrégé, chargé de cours.* | Chimie analytique. *(Cours complémentaire.)* |

*Directeur et Professeur honoraire* : M. CHATIN, Membre de l'Institut, O ✻, ❀ I.
*Professeur honoraire* : M. BERTHELOT, Membre de l'Institut, G. O ✻, ❀ I.

## Agrégés en Exercice

MM. BEAUREGARD, ❀ I.
VILLIERS-MORIAMÉ, ❀ A.
LEIDIÉ, ❀ A.
GAUTIER.

MM. BOUVIER, ❀ A.
BOURQUELOT, ❀ A.
BÉHAL.

## Chefs des Travaux pratiques

| | |
|---|---|
| MM. OUVRARD : 1[re] année | Chimie. |
| LEXTREIT, ❀ A : 2[e] année | Chimie. |
| RADAIS : 3[e] année | Micrographie. |
| QUESNEVILLE, ❀ A : 3[e] année | Physique. |

*Bibliothécaire* : M. DORVEAUX, ❀ A.

A M. PLANCHON

DIRECTEUR DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE

*Hommage respectueux*

A M. LE ROUX

PROFESSEUR A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE

---

*Hommage respectueux*

# SUR LA PUISSANCE

ET LE

# GROSSISSEMENT DE LA LOUPE

## ET DU MICROSCOPE






Lorsqu'on regarde un objet à travers une loupe, un microscope ou l'un quelconque des appareils désignés sous le nom d'oculaires convergents, tout se passe comme si, l'appareil et l'objet étant enlevés, l'œil examinait directement une image de ce dernier, fournie par l'appareil, et qui est le plus souvent virtuelle. Pour qu'il y ait utilité à se servir de l'oculaire, il faut que cette image se forme dans des conditions de position et de grandeur telles qu'elle permette d'apercevoir des détails qu'on ne verrait pas à l'œil nu; en d'autres termes, elle doit donner à son tour une image rétinienne plus grande que celle obtenue dans l'observation directe à l'œil nu.

La valeur de la puissance et celle du grossissement, qualités qui servent à mesurer l'utilité d'un oculaire, dépendent du diamètre apparent sous lequel est vue l'image, et par suite de sa grandeur et de sa position.

Il est évident a priori que cette image doit se former entre les limites de vision distincte de l'observateur; mais on ne peut prévoir quelle est sa position exacte entre ces limites, ordinairement très éloignées l'une de l'autre. Un grand nombre d'auteurs admettent encore aujour-

2

d'hui que l'image se forme au punctum proximum; le grossissement est alors représenté par une expression très simple, le rapport de l'image à l'objet; mais le grossissement ainsi défini varie en sens inverse de la puissance, ce qui est inadmissible.

Dans d'autres ouvrages, on considère l'image comme se formant à une distance telle que la puissance soit maxima : elle serait alors tantôt au punctum proximum, tantôt au punctum remotum, suivant la distance focale de l'oculaire et la position de l'œil. Enfin Ch. Robin dit avoir démontré *(Traité du microscope,* 2e édit. page 130) que cette image se forme toujours en deçà du punctum proximum, à une distance de l'œil d'autant plus petite que l'appareil est moins grossissant, et qui, pour un faible pouvoir amplifiant, pourrait se réduire à peu près à la moitié de la distance minima de vision distincte. Cette assertion a été reproduite dans quelques ouvrages.

Il m'a paru intéressant de déterminer par l'expérience la position exacte de cette image pour tous les genres de vue, et d'en tirer les conséquences relatives au grossissement et à la puissance.

J'ai examiné d'abord le cas le plus simple, celui d'une loupe formée d'une seule lentille convergente, et j'ai cherché à déduire la position de l'image de celle occupée par l'objet, cette dernière pouvant être mesurée avec précision. Cette méthode, qui m'avait paru a priori pouvoir convenir au moins aux lentilles à long foyer, a pu être appliquée même à des loupes d'un assez fort grossissement.

*Mesure des distances focales.* — Il faut tout d'abord mesurer exactement le foyer de la loupe, puis déterminer dans chaque cas la position de l'objet qu'on examine, ces distances devant être toujours comptées à partir des plans principaux de la lentille. Je me suis servi pour cela d'un focomètre de Silbermann, mais en employant une méthode nouvelle pour la mesure des distances focales. Mon focomètre se compose d'une règle graduée de 1 mètre de longueur, sur laquelle glissent librement trois supports munis d'index, portant la lentille et les deux disques translucides à divisions égales. Le porte-lentille, placé en un point convenable de la règle, reste fixe pendant toute la série d'expériences faites avec une même loupe; les deux disques se meuvent de part et d'autre.

Dans la méthode de Silbermann, on amène les deux disques à se trouver, de chaque côté, au double de la distance focale. L'erreur commise sur la mesure est divisée par 4; mais cette erreur est assez forte, car elle comprend l'épaisseur de la lentille, entre les deux plans

principaux, et d'autre part les index des deux pièces peuvent ne pas se correspondre exactement. J'ai donc préféré la méthode suivante :

Soit $f$ la distance focale ; plaçons un objet à une distance $nf$, et soit $x$ la distance à laquelle se forme l'image réelle.

$$\frac{1}{nf} + \frac{1}{x} = \frac{1}{f}$$

D'où

$$x = \frac{nf}{n-1}$$

Par conséquent le rapport de l'image à l'objet est $\frac{1}{n-1}$. Il en résulte que, si l'on place successivement l'objet à des distances $2f$, $3f$, $4f$, etc., l'image réelle, d'abord égale à cet objet, deviendra 2, 3... fois plus petite que lui. C'est en passant de $2f$ à $3f$ qu'on se trouve dans les meilleures conditions ; pour des valeurs plus grandes de $n$, l'image est peu éclairée et l'observation devient moins précise.

Une méthode analogue est suivie dans le focomètre de M. Mergier ; mais la mienne est plus simple, elle se prête à un grand nombre de vérifications et elle n'exige pas un appareil compliqué et dispendieux.

Je place donc l'objet de manière à avoir d'abord une image réelle exactement de mêmes dimensions, puis deux fois plus petite : la longueur dont il faut le déplacer pour passer de la première position à la seconde est la distance focale. Cette distance est ainsi mesurée par le déplacement de l'objet sur la règle, ce qui supprime l'erreur provenant du défaut de concordance des deux index et celle qui est due à l'épaisscur de la lentille. Il y a encore un autre avantage, relatif aux expériences qui suivront : on détermine ainsi le chiffre même de la règle où s'arrête l'index de l'objet, lorsque celui-ci est au foyer principal : lorsqu'on déplace ensuite l'objet pour les observations, on connaît toujours avec exactitude sa distance au foyer, et par suite au premier plan principal, sans avoir à tenir compte de l'épaisseur de la lentille.

D'autres mesures analogues de distances focales ont été faites en plaçant l'objet à la distance $4f$, qui donne une image 3 fois plus petite, et à la distance $\frac{3f}{2}$, qui donne une image deux fois plus grande que l'objet ; mais elles ont servi seulement de vérifications, les premières m'ayant paru présenter plus de garanties.

Le déplacement de l'écran sur lequel on reçoit l'image réelle semble a priori pouvoir servir aussi à mesurer la distance focale ; mais ce procédé est beaucoup moins précis, à cause de la difficulté de placer l'écran exactement dans le plan où se forme l'image aérienne. On peut souvent le déplacer d'un centimètre sans que l'image cesse d'être nette.

Voici un exemple des mesures de distances focales :

Loupe n° 2 (Biconvexe)

Le passage de l'objet de la position $2f$ à la position $3f$ a donné

$$68{,}4 - 63{,}85 = 4{,}55$$
$$68{,}6 - 64{,}2 = 4{,}4$$
$$68{,}5 - 63{,}75 = 4{,}75$$
$$68{,}6 - 64 = 4{,}6$$

Moyenne 4,57

Le passage de $\frac{3f}{2}$ à $2f$ a donné

$$70{,}75 - 68{,}4 = 2{,}35$$
$$70{,}85 - 68{,}6 = 2{,}25$$
$$70{,}8 - 68{,}5 = 2{,}3$$
$$70{,}85 - 68{,}6 = 2{,}25$$

Moyenne 2,287 ; d'où $f = 4{,}574$

La mesure de $4f$ (procédé de Silbermann) a donné pour moyenne 18,79, d'où l'on tire $f = 4{,}7$, nombre qui a été pris seulement comme vérification.

*Mesure de la position de l'image donnée par une loupe.* — Après avoir mesuré la distance focale d'une loupe, je la laisse au même point de la règle et je supprime l'écran-image ; puis je fais mouvoir l'écran-objet en le regardant à travers la lentille, pour déterminer : 1° les deux distances limites entre lesquelles il peut être vu nettement ; 2° la position qui paraît la plus favorable pour le voir avec le maximum de netteté.

J'ai varié les expériences pour déterminer l'influence de chacune des conditions : degré de myopie ou d'hypermétropie de l'observateur, distance de l'œil à la loupe, distance focale de celle-ci, nature et dimensions de l'objet examiné. Cet objet était formé le plus souvent par les divisions de la lame translucide employée plus haut pour la mesure des distances focales : c'est *l'objet n° 1*. J'ai observé aussi un groupe de taches et de stries qui se trouvait sur cette même lame (*objet n° 2*).

J'ai placé l'œil successivement tout près de la loupe, puis à 3 ou 4 centimètres, enfin à environ 20 centimètres, c'est-à-dire bien au delà du foyer. Enfin, pour étudier l'influence des amétropies, j'ai ajouté à mon œil, qui possède naturellement une hypermétropie d'environ 3,50 à 4 D., des verres convergents de 3,25 et de 5 D.; le premier ramenait à peu près l'œil à l'emmétropie, et le second lui communiquait une myopie d'environ 1 à 1,5 D..

J'ai donné le numéro 1 à l'œil dépourvu de lunette, les numéros 2 et 3 à l'œil muni du verre 3,25 D. et de celui de 5 D.; enfin, j'ai fait aussi quelques mesures avec un verre convergent de 2,25 D. (œil nº 4) et avec un verre de 4,50 D. (œil nº 5).

L'addition d'un verre convergent a pour effet de déplacer un peu le centre optique de l'œil; j'ai négligé ce déplacement, qui me paraît sans importance dans les expériences dont il s'agit.

Les résultats observés sont contenus dans les tableaux suivants, qui indiquent en centimètres les valeurs limites de $p$ (distance de l'objet à la lentille) et les positions D les plus favorables ; $p'$ désigne la distance de l'image à la lentille et D' la valeur de $p'$ pour $p = D$. Pour varier les conditions, il n'a été fait généralement qu'une seule observation par jour; les nombres d'un même tableau se rapportent d'ordinaire à des jours consécutifs.

Dans les premiers tableaux, l'œil a été placé aussi près que possible de la loupe. Il suffit donc d'ajouter environ 1,5 cent. aux valeurs de $p'$ pour avoir les distances des images au centre optique de l'œil.

I. — Loupe nº 2 ($f = 4,57$)

Objet nº 1.

| | Limites de $p$. | | D |
|---|---|---|---|
| Œil nº 1 | 3,35 à | 6,35 | 4,55 |
| | 3,5 | 5,75 | 5 |
| | 3,35 | 5,05 | 4,75 |
| | 3,25 | 5,25 | 4,85 |
| | 3,35 | 5,5 | 4,6 |
| Œil nº 2 | 3,10 | 5,15 | 3,95 |
| | 2,95 | 5 | 4,6 |
| | 3 | 4,4 | 3,75 |
| | 2,85 | 4,45 | 3,5 |
| | 2,95 | 4,75 | 3,85 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Œil nº 3 | 3 à | 4,1 | 3,5 |
| | 2,9 | 4,15 | 3,65 |
| | 2,85 | 4,15 | 3,3 |
| | 2,65 | 4,15 | 3,25 |
| | 2,6 | 3,8 | 3,4 |

*Moyennes*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Œil nº 1 | 3,35 à | 5,5 | 4,75 |
| — nº 2 | 2,97 | 4,75 | 3,95 |
| — nº 3 | 2,8 | 4,1 | 3,4 |

La formule connue

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$$

permet de calculer les valeurs moyennes de $p'$. Les valeurs négatives correspondent à des images réelles.

*Moyennes de p'*

| | Limites | | D' |
|---|---|---|---|
| Œil nº 1 | 12,5 à | — 25,15 | —120,5 |
| — nº 2 | 8,5 | —120,5 | + 29,1 |
| — nº 3 | 7,2 | + 39,0 | + 13,2 |

II. — Loupe nº 1 ($f = 2,3$)

Objet nº 1

| | Limites de $p$ | | D |
|---|---|---|---|
| Œil nº 1 | 1,8 à | 2,75 | 2,4 |
| | 1,75 | 2,6 | 2,35 |
| | 1,75 | 2,45 | 2,15 |
| | 1,8 | 2,3 | 2 |
| Œil nº 2 | 1,7 | 2,35 | 2,1 |
| | 1,7 | 2,35 | 2,05 |
| | 1,6 | 2,3 | 1,95 |
| | 1,6 | 2,25 | 1,85 |
| Œil nº 3 | 1,6 | 2,35 | 2,05 |
| | 1,5 | 2,25 | 1,65 |
| | 1,65 | 2,05 | 1,9 |
| | 1,4 | 2,2 | 1,85 |

*Moyennes de p*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Œil nº 1 | 1,77 à | 2,52 | 2,22 |
| Œil nº 2 | 1,65 | 2,31 | 2,0 |
| Œil nº 3 | 1,54 | 2,21 | 1,86 |

*Moyennes de p'*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Œil nº 1 | +7,6 à | — 26,3 | +63,8 |
| Œil nº 2 | +5,8 | —531,3 | +15,3 |
| Œil nº 3 | +4,6 | + 59,5 | + 9,7 |

Dans les tableaux suivants, je me bornerai, pour abréger, à indiquer les moyennes et le nombre des expériences ; ceux qui précèdent permettent de juger le degré de concordance qu'on peut obtenir : cette concordance ne peut être très rigoureuse, car il est possible que de légers changements se produisent d'un jour à l'autre dans la réfraction de l'œil avec l'état de santé, la fatigue, etc.

III. — Loupe nº 1

Objet nº 2 (4 expériences)

| | Limites de $p$ | | D | Limites de $p'$ | | D' |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Œil nº 1 | 2,0 à | 2,33 | 2,16 | 15,3 à | —175,3 | 35,5 |
| — nº 2 | 1,85 | 2,24 | 2,04 | 9,4 | + 85,9 | 18,0 |
| — nº 3 | 1,79 | 2,19 | 2,0 | 8,0 | + 45,8 | 15,3 |

IV. — Loupe nº 2

Objet nº 2 (4 expériences)

| | Limites de $p$ | | D | Limites de $p'$ | | D' |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Œil nº 1 | 3,84 à | 4,94 | 4,29 | 24,0 à | — 61,0 | 70,0 |
| — nº 2 | 3,29 | 4.02 | 3,75 | 11,7 | 33,4 | 20,8 |
| — nº 3 | 2,96 | 3,84 | 3,27 | 8,4 | 24,0 | 11,5 |

Les mesures suivantes ont été faites en plaçant l'œil à une petite distance de la loupe ; il faut donc ajouter environ 4 centimètres aux valeurs de $p'$ pour avoir les distances des images au centre optique de l'œil.

V. — Loupe nº 1

Objet nº 1

(Moyennes de 5 expériences)

| | Limites de $p$ | | D |
|---|---|---|---|
| Œil nº 1 | 1,86 à | 2,59 | 2,33 |
| — nº 2 | 1,64 | 2,43 | 2,14 |
| — nº 3 | 1,35 | 2,21 | 2,07 |

Le nombre 1,35 n'a pu être déterminé avec une grande exactitude, parce que les supports se trouvaient trop rapprochés.

*Moyennes de p'*

| | Limites | | D |
|---|---|---|---|
| Œil nº 1 | 12,5 à | — 20,5 | — 178,6 |
| — nº 2 | 5,7 | — 42,9 | + 30,7 |
| — nº 3 | 3,2 | + 56,5 | + 20,7 |

VI. — Loupe nº 2

Objet nº 1

| | Limites de $p$ | | D | Limites de $p'$ | | D' |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Œil nº 1 | 4,10 à | 5,76 | 5,33 | 39,8 à | — 22,1 | — 32,0 |
| - nº 2 | 3,45 | 5,17 | 4,67 | 14,0 | — 39,3 | —213,4 |
| — nº 3 | 3,07 | 4,37 | 4,12 | 9,3 | + 99,8 | + 41,8 |

Ces nombres sont les moyennes de 4 expériences pour les limites et de 8 pour les valeurs de D.

VII. — Loupe nº 3 ($f = 13,9$)

Objet nº 1

| | Limites de $p$ | | D | Limites de $p'$ | | D' |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Œil nº 1 | 11,3 à | 18,3 | 16,5 | 60,4 à | — 57,8 | — 87,8 |
| — nº 4 | 10,65 | 15,05 | 12,62 | 45,5 | —181,9 | +136,9 |
| — nº 5 | 8,57 | 11,25 | 10,72 | 27,5 | + 59,0 | + 46,8 |

Cette série comprend 3 expériences pour les limites, et de 7 à 15 pour les valeurs de D.

VIII. — Loupe nº 1

Objet nº 2 (4 expériences)

| | Limites de $p$ | | D | Limites de $p'$ | | D' |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Œil nº 1 | 2,16 à | 2,49 | 2,26 | 35,5 à | —30,1 | 129,9 |
| — nº 2 | 2,05 | 2,2 | 2,16 | 18,8 | +50,6 | 35,5 |
| — nº 3 | 1,91 | 2,17 | 2,01 | 11,2 | +38,4 | 15,9 |

J'ai fait enfin un certain nombre de mesures en plaçant l'œil très

loin de la lentille, à 20 centimètres environ; mais il a été impossible de le faire avec la loupe n° 1. Voici les résultats de ces mesures :

IX. — Loupe n° 2

Objet n° 1 (4 expériences)

| | Limites de $p$ | | D | Limites de $p'$ | | D' |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Œil n° 1 | 3,55 à | 4,92 | 4,62 | 15,9 à | — 64,2 | — 422,2 |
| — n° 4 | 3,16 | 4,86 | 4,38 | 10,2 | — 77,9 | + 105,3 |
| — n° 5 | 2,27 | 4,40 | 3,85 | 4,5 | + 118,2 | + 24,4 |

X. — Loupe n° 3

Objet n° 1

| | Limites de $p$ | | D | Limites de $p'$ | | D' |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Œil n° 1 | 12,2 à | 18,9 | 15,98 | 99,7 à | — 52,5 | — 106,7 |
| — n° 4 | 9,3 | 13,75 | 12,87 | 28,1 | + 1274,1 | + 173,6 |

*Résultats des expériences précédentes.* — Avant d'examiner les résultats qui précèdent, il est bon de remarquer que, malgré les précautions prises pour les mesures de $p$, les valeurs de $p'$ ne peuvent pas avoir une grande précision : l'objet se trouvant près du foyer, une très faible variation de $p$ entraîne une grande variation de $p'$.

Malgré ce défaut, il est évident qu'on ne peut considérer l'image comme étant au punctum proximum; cette condition n'est jamais réalisée. On ne peut admettre davantage qu'elle se forme dans les conditions les plus avantageuses pour l'œil, car nous montrerons plus loin qu'elle devrait alors se trouver soit au punctum proximum, soit au punctum remotum, suivant que le centre optique de l'œil se trouve en deçà ou au delà du second foyer de la loupe. On voit au contraire que, dans tous les cas, l'image peut se déplacer dans des limites assez larges sans cesser d'être visible, et qu'elle se forme toujours dans une position intermédiaire, qui n'est pas absolument fixe dans les mêmes conditions.

Ces limites varient avec la distance focale de la loupe, la nature de l'objet, la position de l'œil. Elles se resserrent quand on remplace un objet facile à observer (division en millimètres) par un autre objet plus fin et plus petit; elles s'écartent d'autant plus que la loupe est plus convergente. Enfin les deux points limites paraissent s'éloigner

tous deux de la loupe, lorsque l'œil s'en éloigne lui-même, mais ce résultat n'est pas parfaitement net.

Avec les loupes les plus convergentes, les limites de $p'$ semblent dépasser un peu celles qu'on attribue d'ordinaire à la vision distincte. Mais rien ne prouve que ces limites de vision distincte soient absolument fixes ; il me semble au contraire qu'elles doivent varier avec les conditions : nature de l'objet, intensité de l'éclairement, etc. Pour m'en assurer, j'ai cherché à déterminer le punctum proximum dans les conditions mêmes de l'expérience. Pour cela, j'applique l'œil derrière le porte-lentille, dépourvu de loupe, et je fais mouvoir sur la règle l'écran divisé en millimètres (objet n° 1), éclairé comme dans les expériences précédentes. Les distances peuvent ainsi être mesurées à partir du même point que dans ces expériences.

Punctum proximum

| Œil n° 1 | Œil n° 2 | Œil n° 3 |
|---|---|---|
| 10,25 | 6,2 | 5 |
| 10,5 | 7,15 | 5,85 |
| 8 | 7 | 5,6 |
| 7,1 | 6,3 | 5,45 |
| 7,2 | 6,8 | 6,7 |

Ces distances ont été mesurées en des jours différents et celles de la dernière ligne assez longtemps après les autres. Elles sont données à partir du porte-lentille, pour les rendre comparables aux valeurs de $p'$ calculées plus haut. Pour avoir les vraies distances, comptées à partir du centre optique de l'œil, il faut ajouter environ 1,5 cent.

On voit donc que la distance minimum de vision distincte, au moins dans le cas qui nous occupe, est notablement inférieure à celle qu'on admet généralement.

*Position des images dans le microscope.* — Il semble évident que les résultats obtenus avec la loupe doivent s'appliquer aussi bien au microscope. Néanmoins j'ai cherché à m'en assurer directement. Pour cela j'ai d'abord installé sur ma règle divisée, à 15 centim. l'un de l'autre, un objectif n° 0 de Verick et la loupe n° 1, qui n'est autre chose que le verre de l'œil d'un oculaire n° 2 du même microscope. J'avais donc le microscope complet, sauf la lentille de champ. Mais l'appareil optique ainsi constitué s'est trouvé trop convergent. En

effet, pour donner à l'image réelle observée par la loupe le déplacement maximum compatible avec la visibilité, il suffit de déplacer l'objet devant l'objectif de 0,01 cent., quantité notablement inférieure aux erreurs d'expérience.

J'ai donc constitué ensuite un système analogue à un microscope, mais moins convergent que le premier. J'ai pris comme objectif la lentille n° 2 ($f = 4{,}57$), déjà utilisée plus haut, et comme oculaire encore la lentille n° 1, placée à 15 cent. de l'objectif. En déplaçant l'objet devant l'objectif, j'ai trouvé les positions suivantes (moyenne de 3 expériences).

XI. — Microscope

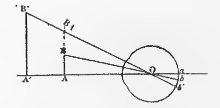
Objet n° 1

| | Limites de $p$ | | D |
|---|---|---|---|
| Œil n° 1 | 6,7 | à 7,15 | 6,9 |
| — n° 2 | 6,65 | 7,10 | 6,8 |
| — n° 3 | 6,55 | 7,0 | 6,75 |

La formule des lentilles donne les valeurs correspondantes de $p'$; en les retranchant de 15, on a les distances de l'image réelle à l'oculaire. Pour l'œil n° 1 par exemple, on trouve ainsi 0,54 à 2,38 pour les limites, et D' = 1,6. Sauf la limite extrême, ces nombres sont un peu plus petits que ceux du tableau II, mais la différence n'est pas supérieure aux erreurs d'expérience. Je n'ai pas tenu compte ici de l'épaisseur de l'objectif, qui ne dépasse pas 0,1. Les résultats sont donc les mêmes que pour la loupe, au moins avec un microscope n'ayant pas un très fort grossissement.

*Expressions de la puissance et du grossissement.* — Examinons maintenant les conséquences relatives au grossissement et à la puissance. Les expériences relatées plus haut prouvent qu'il est impossible d'admettre, comme on le fait encore souvent, que l'image se forme à la distance même où l'on placerait l'objet pour le regarder à l'œil nu. Le grossissement ne peut donc pas être regardé comme le rapport des dimensions homologues de l'image et de l'objet. Il est d'ailleurs beaucoup plus logique de le considérer, ainsi qu'on le fait quelquefois, comme le rapport des images rétiniennes qu'on obtient en regardant l'objet à travers la loupe ou à l'œil nu, ou, ce qui revient au même, comme le rapport des diamètres apparents de l'image et de l'objet. Cette définition suppose l'objet AB à la distance où on le pla-

cerait pour l'examiner à l'œil nu, et l'image A'B' au point où la donne l'oculaire.




Désignons par I la grandeur de l'image, par O celle de l'objet, par $d$ la distance de l'œil à laquelle on placerait ce dernier pour l'examiner et par $d'$ la distance où se forme l'image. Le grossissement est :

$$G = \frac{I}{O} - \frac{d}{d'} = \frac{p'}{p} \frac{d}{d'}$$

On a de plus, en appelant $c$ la distance des centres optiques de la loupe et de l'œil réduit, et en supposant l'image virtuelle,

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$$
$$p' = d' - c$$

En éliminant $p$ et $p'$, il vient

(1) $$G = \left(\frac{d' - c}{f} + 1\right)\frac{d}{d'}$$

Dans le cas où l'image est réelle, comme cela arrive souvent pour l'œil hypermétrope, on a, en prenant $d'$ comme une quantité dépourvue de signe

$$p' = -(d' + c)$$

$$G = -\frac{p'}{p} \frac{d}{d'}$$

et il vient

(2) $$G = \left(\frac{d' + c}{f} - 1\right)\frac{d}{d'}$$

On sait qu'on appelle *puissance* d'un oculaire l'angle sous lequel on voit, à travers l'instrument, un objet de longueur égale à l'unité. Par suite, l'expression de la puissance est, dans le cas de l'image virtuelle,

$$(3) \qquad P = \left(\frac{d' - c}{f} + 1\right)\frac{1}{d'}$$

et l'on a

$$(4) \qquad G = P.\, d$$

La puissance d'un oculaire semble donc être indépendante de $d$ et par suite de la vue de l'observateur; mais en réalité il n'en est pas ainsi, puisque l'expérience donne pour $d'$ des valeurs variables avec le degré de la réfraction.

*Influence de la position de l'œil sur la puissance et le grossissement.* — Supposons d'abord l'image virtuelle. La puissance peut s'écrire,

$$(5) \qquad P = \frac{1}{f} + \frac{1}{d'}\left(1 - \frac{c}{f}\right)$$

Si $c$ est plus petit que $f$, c'est-à-dire si le centre optique de l'œil réduit est en deçà du second foyer principal de la loupe, le terme $\frac{1}{d'}\left(1 - \frac{c}{f}\right)$ est positif, et la puissance augmente avec ce terme. Il y aurait alors avantage à diminuer $d'$, c'est-à-dire à faire former l'image au punctum proximum.

Lorsque $c$ est plus grand que $f$, le terme considéré est négatif, et la puissance serait maxima si l'image était au punctum remotum, c'est-à-dire à une distance finie pour le myope, à l'infini pour l'emmétrope; enfin, pour l'hypermétrope, cette image devrait être réelle et placée au punctum remotum, qui est virtuel.

En réalité, si l'image est réelle, les formules (3) et (5) ne sont plus applicables; la puissance est donnée par

$$(6) \qquad P = \left(\frac{d' + c}{f} - 1\right)\frac{1}{d'}$$

L'examen de cette formule montre encore qu'il y aurait avantage à diminuer $d'$, c'est-à-dire à former l'image au punctum remotum virtuel.

La première hypothèse, qui suppose l'œil entre la loupe et son foyer,

paraît être celle qui se présente le plus fréquemment, l'œil ne se plaçant au delà du foyer que pour les loupes très convergentes.

Enfin la puissance se réduit à

$$P = \frac{1}{f} \tag{7}$$

dans deux cas particuliers : elle est alors égale à la convergence de la lentille et peut comme elle s'exprimer en dioptries. Le premier cas est celui d'un œil emmétrope qui regarderait à travers la loupe sans accommodation, ce qui donne $d' = \infty$; il ne me paraît pas se réaliser d'ordinaire. Le second terme s'annule encore lorsqu'on a $c = f$, quelle que soit d'ailleurs la valeur de $d'$. La puissance serait alors indépendante de la vue de l'observateur et de son degré d'accommodation. On admet souvent que cette condition est à peu près réalisée dans la pratique, lorsque l'œil est bien placé pour voir à travers l'oculaire. C'est peut-être vrai pour le microscope, où diverses conditions obligent à placer l'œil au point oculaire, qui est voisin du foyer ; mais il n'en est pas de même pour la loupe.

C'est pour vérifier cette influence des valeurs respectives de $c$ et de $f$ que j'ai placé l'œil à différentes distances des lentilles. Les résultats indiqués plus haut montrent que cette influence est nulle et que l'image est toujours dans une position intermédiaire entre les deux limites de la vision distincte. Il est donc impossible d'admettre qu'elle se forme toujours dans les conditions les plus avantageuses pour la puissance. On peut d'ailleurs s'en assurer en comparant les diverses valeurs de cette quantité, ainsi que nous allons le faire. Il est évident que les mêmes remarques s'appliquent au grossissement.

*Valeurs de la puissance dans les expériences précédentes.* — La formule simplifiée (7), souvent usitée dans la pratique, donne :

| | |
|---|---|
| Loupe n° 1 | 0,434 |
| — n° 2 | 0,218 |
| — n° 3 | 0,072 |

D'autre part j'ai calculé la puissance à l'aide des formules (3) et (6) pour toutes les distances de l'image contenues dans les dix tableaux qui précèdent. Voici quelques-unes de ces valeurs ; les numéros correspondent à ceux des tableaux ci-dessus.

### Puissance de la loupe

1° L'œil tout près de la loupe : $c = 1{,}5$; objet n° 1

| | Limites | | pour la distance D' |
|---|---|---|---|
| Loupe n° 2. I — Œil 1 | 0,267 à | 0,190 | 0,213 |
| — 2 | 0,286 | 0,213 | 0,240 |
| — 3 | 0,296 | 0,235 | 0,264 |
| Loupe n° 1. II — Œil 1 | 0,473 | 0,421 | 0,440 |
| — 2 | 0,482 | 0,434 | 0,455 |
| — 3 | 0,492 | 0,441 | 0,466 |

2° Même position de l'œil : objet n° 2.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Loupe n° 1. III — Œil 1 | 0,455 | 0,433 | 0,444 |
| — 2 | 0,467 | 0,439 | 0,453 |
| — 3 | 0,471 | 0,442 | 0,455 |

3° L'œil un peu plus loin : $c = 4$. Objet n° 1.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Loupe n° 1. V — Œil 1 | 0,390 | 0,480 | 0,439 |
| — 2 | 0,359 | 0,453 | 0,413 |
| — 3 | 0,332 | 0,422 | 0,405 |
| Loupe n° 2 VI — Œil 1 | 0,221 | 0,212 | 0,214 |
| — 2 | 0,225 | 0,215 | 0,218 |
| — 3 | 0,228 | 0,210 | 0,221 |
| Loupe n° 3. VII — Œil 1 | 0,083 | 0,059 | 0,063 |
| — 4 | 0,086 | 0,068 | 0,077 |
| — 5 | 0,094 | 0,083 | 0,086 |

4° L'œil très loin : $c = 20$. Objet n° 1.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Loupe n° 2. IX — Œil 1 | 0,124 | 0,296 | 0,227 |
| — 4 | 0,107 | 0,277 | 0,192 |
| — 5 | 0,088 | 0,194 | 0,142 |
| Loupe n° 3. X — Œil 1 | 0,068 | 0,085 | 0,077 |
| — 4 | 0,063 | 0,071 | 0,070 |

On voit que l'œil s'adapte toujours de préférence pour une valeur moyenne de la puissance et jamais pour la puissance maxima. Les limites de cette quantité varient, pour une même loupe, avec la nature de l'objet et la distance de l'œil. Leur différence est généralement un peu plus grande pour l'hypermétrope que pour le myope. On voit que

la formule (7) ne donne qu'une valeur assez grossière, sauf lorsque l'œil est assez voisin du second foyer principal.

Enfin j'ai cherché à vérifier les valeurs de la puissance contenues dans les tableaux précédents à l'aide des méthodes qui servent ordinairement à mesurer la puissance et le grossissement du microscope. Les méthodes le plus souvent employées sont celles de la chambre claire, de la double vue et du micromètre oculaire; elles sont trop connues pour que j'aie besoin de les décrire. D'ailleurs les deux premières n'en forment à proprement parler qu'une seule, et tout ce que je dirai de la première s'appliquera évidemment à la seconde.

*Mesure de la puissance par la chambre claire.* — La méthode de la chambre claire peut donner la puissance d'une loupe. En effet si l'image I d'un objet de longueur 1 sa forme à la distance $d'$ et qu'on la dessine sur un papier fixé à la distance $\delta$ de l'œil, la longueur $x$ du dessin sera donnée par :

$$\frac{x}{\delta} = \frac{I}{d'}$$

On aura donc la puissance en divisant $x$ par $\delta$. De plus, si o dessine l'image à différentes distances, $\frac{x}{\delta}$ doit être constant, et la moyenne des valeurs ainsi trouvées doit permettre d'obtenir la puissance avec précision.

J'ai appliqué d'abord cette méthode à la loupe nº 1 (verre de l'œil d'un oculaire à micromètre nº 2 de Verick), en me servant d'une chambre claire d'Améri et en remplacant le micromètre oculaire par l'objet nº 1; les observations ont été faites à l'œil nu (œil nº 1). A cause de la hauteur de la chambre claire, j'ai admis 2 centimètres comme distance de l'œil à la lentille. D'ailleurs l'emploi de la chambre claire ne permet pas de placer l'œil à différentes distances, comme je l'avais fait précédemment.

J'ai d'abord dessiné l'image à la distance de la platine (19 centimètres de l'œil) pour trois distances différentes de la loupe à l'objet : 1º distance maximum, la loupe étant dévissée autant que possible, ce qui correspondait à peu près à la limite maximum de vision; 2º position la plus favorable, qui était peu éloignée de la précédente; 3º distance minimum de vision distincte. G désigne ici le rapport des grandeurs de l'image et de l'objet et P la puissance.

| | 1re distance | 2e distance | 3e distance |
|---|---|---|---|
| | 8 | 8 | 9 |
| | 8 | 8 | 10 |
| | 8 | 8,5 | 9 |
| | 9 | 9 | 9,5 |
| | 8,5 | 9 | 10 |
| | 8,5 | 9 | 9 |
| | 8 | 8 | 9,5 |
| | 8,5 | 8 | 9,5 |
| | 8 | 8 | 10 |
| | 8,5 | 9 | 10 |
| | 8,5 | 9 | 9,5 |
| | 8,5 | 8 | |
| | | 9 | |
| | | 9 | |
| Moyennes de G : | 8,38 | 8,53 | 9,54 |
| — P : | 0,44 | 0,45 | 0,50 |

Ces nombres diffèrent peu de ceux contenus dans le tableau I.

J'ai déterminé ensuite la puissance, pour une même position de la loupe, celle qui m'a paru la plus favorable, en dessinant l'image à différentes distances de l'œil. Il a été fait de 10 à 25 mesures pour chaque cas ; j'indique seulement les moyennes.

| Distances | G | P |
|---|---|---|
| 6,5 | 4,03 | 0,62 |
| 8,5 | 4,41 | 0,52 |
| 10 | 5,04 | 0,50 |
| 13,5 | 6,85 | 0,50 |
| 14 | 6,87 | 0,49 |
| 16 | 7,45 | 0,47 |
| 19 | 9,05 | 0,47 |
| 19 (autre série) | 8,97 | 0,47 |
| 23,5 | 11,10 | 0,47 |
| 25 | 10,95 | 0,44 |
| 31 | 13,34 | 0,43 |
| 36 | 15,43 | 0,43 |
| 42 | 17,80 | 0,42 |

Les valeurs trouvées pour la puissance ne sont pas constantes : elles

diminuent à mesure que la distance augmente. Mais, si l'on construit une courbe en prenant pour abscisses les distances et pour ordonnées les valeurs de G, cette courbe ne diffère pas sensiblement d'une droite, comme cela doit être. Le coefficient angulaire de cette droite, qui doit donner la puissance, est 0,4. Mais, au lieu de passer exactement par l'origine, elle coupe l'axe des abscisses à — 2,5. On constate en effet que, si l'on ajoute 2,5 aux distances du tableau précédent, on trouve pour la puissance des valeurs comprises entre 0,40 et 0,45, et qui par conséquent sont bien d'accord avec la valeur du tableau II. Cependant cette différence de 2,5 dépasse certainement l'erreur possible sur la position de l'œil, et doit être, à mon avis, attribuée à une correction insuffisante des aberrations.

En mesurant ainsi l'image projetée à différentes distances, et en utilisant ces nombres pour calculer des valeurs de la puissance, on a un moyen commode d'apprécier l'importance de l'aberration de sphéricité.

La lentille n° 2, qui n'est qu'une loupe de fabrication courante, a donné de meilleurs résultats, peut-être parce que sa puissance est plus faible. Ainsi, en mesurant l'image à diverses distances, pour la position la plus favorable de la lentille, j'ai trouvé :

| Distances | G | P |
|---|---|---|
| 7 | 1,500 | 0,214 |
| 22,5 | 4,885 | 0,217 |
| 29,5 | 6,350 | 0,215 |
| 39,5 | 8,400 | 0,212 |
| | Moyenne..... | 0,214 |

La moyenne est absolument égale au nombre 0,213 contenu dans le tableau I.

Pour une autre position de la loupe, choisie arbitrairement et un peu plus rapprochée de l'objet, j'ai trouvé :

| Distances | G | P |
|---|---|---|
| 18,5 | 4,227 | 0,228 |
| 32,5 | 7,218 | 0,222 |
| 38 | 8,682 | 0,228 |
| 44 | 10,045 | 0,228 |

Enfin j'ai obtenu pour les valeurs limites :

| | |
|---|---|
| Puissance maxima | 0,262 |
| Puissance minima | 0,201 |

nombres qui sont à peu près identiques avec ceux du tableau I.

La méthode de la chambre claire confirme donc les résultats énoncés plus haut.

*Mesure du grossissement par la chambre claire.* — Cette méthode peut servir aussi, et c'est de cette manière qu'on l'emploie le plus souvent, à obtenir le grossissement. Mais il se présente alors une petite difficulté ; c'est de savoir à quelle distance de l'œil il convient de faire le dessin ou d'effectuer la mesure de l'image.

Il y a, à mon avis, deux cas à distinguer. Si l'on se propose de déterminer le grossissement réel d'un microscope, défini comme plus haut, il est facile de voir qu'il faut faire la mesure à la distance où l'on placerait l'objet lui-même pour le regarder à l'œil nu, distance que j'ai appelée $d$. Soit en effet $AB_1$ (fig. 1) l'image dessinée ou mesurée dans ces conditions.

$$AB_1 = A'B' \frac{d}{d'}$$

d'où

$$\frac{AB_1}{AB} = \frac{A'B'}{AB} \frac{d}{d'}$$

Le rapport $\frac{AB_1}{AB}$ donne donc le vrai grossissement.

Une autre solution plus exacte consiste à déterminer la puissance, en prenant la moyenne d'observations faites à diverses distances, et à la multiplier par $d$.

Mais, qu'on choisisse l'un ou l'autre des deux procédés, il faut toujours fixer la valeur de $d$. Les objets qu'on regarde à la loupe étant toujours petits, il y a intérêt à les placer au punctum proximum pour mieux voir les détails. Je m'en suis assuré pour l'objet n° 1 ; en déterminant, à des jours différents, la position la plus favorable, j'ai trouvé :

| Œil 1 | Œil 2 | Œil 3 |
|---|---|---|
| 7,5 | 7,3 | 7 |
| 7,95 | 7,75 | 6,5 |
| 8,75 | 11 | 10,6 |
| 11,5 | 10,8 | 9,5 |

Ces distances sont comptées à partir du porte-lentille, pour les rendre comparables avec celles qui ont été mesurées plus haut. Pour avoir leurs vraies valeurs, il faut ajouter 1,5 environ. On voit que ces distances concordent sensiblement avec les positions du punctum proximum indiquées précédemment. Pour la loupe, *d* représente donc à peu près la distance minimum de vision distincte. On peut admettre qu'il en est de même pour le microscope.

Cependant, la difficulté n'est pas résolue, puisque j'ai montré que la valeur adoptée généralement pour cette distance est beaucoup trop grande. Il en résulte que les nombres donnés pour le grossissement sont en général beaucoup trop forts. Ainsi l'expression $\frac{d}{f}$, employée ordinairement pour la loupe, donne, pour les lentilles :

| | | |
|---|---|---|
| Loupe | nº 1 | 10 |
| — | nº 2 | 5,03 |

En prenant les valeurs de la puissance pour la distance D' (tableaux I et II) et adoptant pour les positions du punctum proximum les nombres 10 (œil nº 1), 8 (œil 2) et 7 (œil 3), on a

| | Loupe 1 | Loupe 2 |
|---|---|---|
| Œil 1 | 4,40 | 2,13 |
| — 2 | 3,64 | 1,92 |
| — 3 | 3,26 | 1,85 |

Il faut donc, pour avoir le grossissement exact, connaître avec précision la distance minimum de vision distincte. Il est donc bien préférable de considérer seulement la puissance, qui est indépendante de cette distance et qui, par conséquent, peut être mesurée avec plus de certitude.

*Grossissement d'un dessin fait à la loupe ou au microscope.* — Supposons maintenant que, au lieu de chercher le grossissement réel, on se propose seulement de dessiner avec la chambre claire un objet vu à la loupe ou au microscope et d'en mesurer le grossissement.

Il est évident que, si l'on mesure le grossissement par la chambre claire, à une distance quelconque, et qu'on fasse ensuite un dessin à cette même distance, on connaîtra le grossissement du dessin. Cette méthode, généralement employée, me paraît cependant présenter un grave défaut. Supposons en effet que le grossissement réel de l'appareil, mesuré au punctum proximum, soit 100. En faisant le dessin à

des distances 2, 3, 4, ... fois plus grandes, on obtiendra une image ayant un diamètre 2, 3, 4, ... fois plus grand et par suite grossie 200, 300, ... fois. Mais l'amplification apparente ainsi obtenue n'aura aucun effet sérieux ; l'image sera plus grande, mais elle ne montrera pas plus de détails que si elle avait été faite au punctum proximum ; on n'y verra donc pas un certain nombre de détails qu'on distinguerait sur un dessin tracé à la distance minimum de vision distincte, avec un appareil optique grossissant réellement 200, 300, 400, ... fois.

En réalité, ce défaut est un peu diminué dans la pratique, parce qu'il est d'usage de dessiner toujours à peu près à la même distance ; l'erreur commise est donc toujours à peu près la même. Il serait facile de la corriger complètement. Je dis qu'on peut tracer le dessin à une distance quelconque, pourvu qu'on le regarde ensuite en le plaçant à la même distance de l'œil. En effet, soit $x$ la longueur de l'image d'un objet de longueur 1, dessiné à la distance $\delta$. Si on la regarde ensuite à cette même distance, on la voit sous un diamètre apparent $\frac{x}{\delta}$. En regardant l'image A'B' dans l'appareil, on la voit sous un angle $\frac{A'B'}{d'}$. On a évidemment

$$\frac{x}{\delta} = \frac{A'B'}{d'}$$

Le diamètre apparent est donc le même, et par suite l'image rétinienne a la même grandeur.

On obtiendrait donc des résultats absolument exacts : 1° en dessinant toujours, non pas à côté de la platine, mais à une distance de l'œil bien déterminée et toujours la même ; 2° en plaçant toujours les dessins à cette même distance de l'œil pour les regarder.

*Méthode du micromètre oculaire.* — Cette méthode présente, pour la mesure du grossissement, le même défaut que celle de la chambre claire. Elle donne exactement le grossissement de l'objectif, mais, comme on multiplie ensuite par celui de l'oculaire pour avoir le grossissement total, on rencontre encore la même difficulté. En effet, l'oculaire étant une loupe, la mesure exacte de son grossissement présente les incertitudes que j'ai indiquées dans les paragraphes précédents. Cette méthode n'est donc nullement supérieure à la première.

Pour le vérifier, j'ai mesuré d'une part, à l'aide de la chambre claire, la puissance et le grossissement d'un microscope de Verick